

# МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЦИФРОВА ОБРОБКА НЕСТАЦІОНАРНИХ ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ СКЛАДНОЇ РОТОРНОЇ СИСТЕМИ

Паздрій О.Я.

*Національний Технічний Університет України  
«Київський Політехнічний Інститут ім. Ігоря Сікорського»,  
пр. Перемоги 37, м. Київ, Україна, 03056*

Ключові слова: газотурбінні двигуни, діагностика вібрацій, тріщиноподібні пошкодження, фрактальний аналіз, показник Херста, R/S аналіз

Авіаційні газотурбінні двигуни (ГТД) є складними роторними системами, які працюють в умовах значних динамічних навантажень. Безпека та надійність ГТД значною мірою визначають надійність елементів авіаційної техніки. Для забезпечення безвідмовної експлуатації таких систем важливим є моніторинг їх технічного стану.

Ця робота є продовженням дослідження багаторівневої системи контролю вібрації ГТД [2] для її практичної реалізації.

Діагностичною інформацією пошкодження роторного елементу у загальному спектрі вібрацій є роторні гармоніки. Для діагностики використовуються їх рівні на резонансних режимах і характеристики їх зміни відповідно до зміни частоти обертання ротора.

Для підвищення ефективності діагностики початкових тріщиноподібних пошкоджень валу було застосовано фрактальний аналіз (визначення показника Херста за допомогою R/S аналізу) змодельованого вібраційного сигналу валу під час розгону.

Представлена спрощена модель гнучкого ротора [1] який складається з невагомго вала, симетрично встановленого в опорах, та посаженого посередині диска з незбалансованою масою. В якості пошкодження валу приймається поперечна тріщина, розташована безпосередньо біля диска. Збільшення пошкодження задавалося збільшенням показника  $\Delta K$  - відносного зміни (зменшення) жорсткості в перерізі вала, значення якого приймалися від 0,01 до 0,3. У дослідженні використовується модель «дихаючої» тріщини - чергування положень закриття і відкриття тріщини при русі валу, що відбувається завдяки періодичній зміні жорсткості вала.

Рівняння руху складної роторної системи (ротора Джеффкотта) [1] з урахуванням гравітаційних сил, впливу незбалансованої маси і описаного вище пошкодження валу в нерухомій системі координат(СК) мають такий вигляд [1]:

$$\begin{pmatrix} M & 0 \\ 0 & M \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{z} \\ \ddot{y} \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} F & 0 \\ 0 & F \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{z} \\ \dot{y} \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{21} \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} z \\ y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Mg \\ 0 \end{Bmatrix} + M\epsilon \begin{Bmatrix} \dot{\theta}^2 \cos \theta + \ddot{\theta} \sin \theta \\ \dot{\theta}^2 \sin \theta - \ddot{\theta} \cos \theta \end{Bmatrix} \quad (1)$$

де  $M$  і  $F$  відповідно матриці мас і демпфірування;  $K$  - матриця жорсткості, що залежать від часу і положення вала на орбіті;  $g$  - прискорення сили тяжіння.

Перетворення координат в площині обертання нерухомої та пов'язаної з ротором СК відбувається відповідно до виразу[1]:

$$\begin{pmatrix} z \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \Phi & -\sin \Phi \\ \sin \Phi & \cos \Phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Для діагностики системи та обробки сигналів було розроблено програмне забезпечення в середовищі Matlab Simulink. Результати моделювання за виразами (1) та (2) представлені на рис.1.

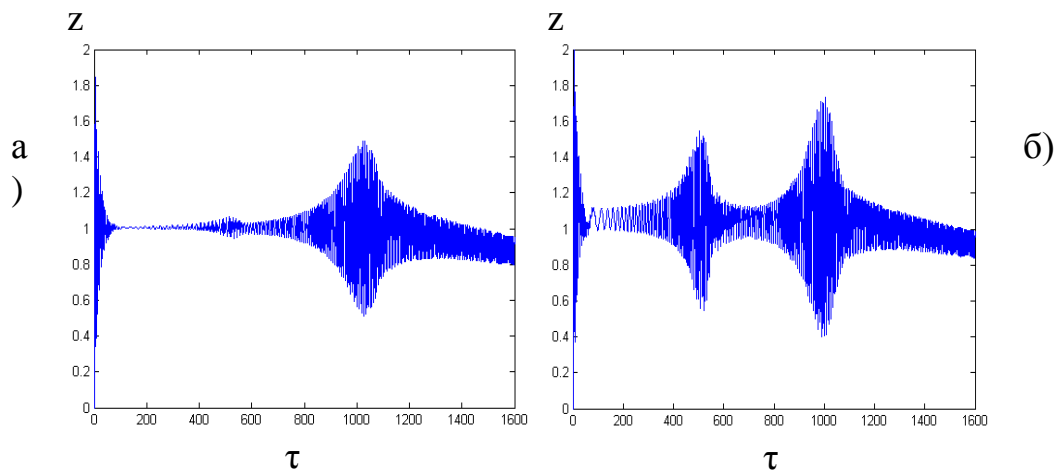


Рисунок1 – Безрозмірні вібраційні амплітуди ротора під час розгону при  $\Delta K=0,01$  (а) та  $\Delta K=0,1$  (б)

В ході досліджень було визначено, що невеликі зміни розмірів тріщини приводять до значної зміни показника Херста для часового ряду в діапазоні субгармонічного резонансу.

Фрактальний аналіз виявився ефективним для його використання для діагностування початкових тріщиноподібних пошкоджень вала.

### Список літератури

1. J. Sawicki, X. Wu, G. Baaklini, A. Gyekenyesi, Vibration-based crack diagnosis in rotating shafts during acceleration through resonance, Proc. of SPIE, Vol.5046 (2003)1-10
- 2.O. Pavlovskyi, N. Bouraou, On-board vibration diagnostics of shaft damage of the aviation engine, Vibrations in Physical Systems Vol.26 (2014) 229-234.
- 3.O. Pavlovskyi, N. Bouraou, O.Pazdrii, Improvement of the Vibration Diagnostics of Rotation Shaft Damage Based on Fractal Analysis ,Vibrations in Physical Systems Vol.27 (2016) 61-66.